

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 196 50 391 C 2

21 Aktenzeichen: 196 50 391.4-52
22 Anmeldetag: 5. 12. 1996
43 Offenlegungstag: 10. 6. 1998
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 26. 7. 2001

51 Int. Cl. 7:
G 01 B 11/24
G 02 B 5/00
G 02 B 27/14
A 61 C 19/04

DE 196 50 391 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Leica Microsystems Heidelberg GmbH, 69120
Heidelberg, DE

74 Vertreter:
Ullrich & Naumann, 69115 Heidelberg

72 Erfinder:
Engelhardt, Johann, Dr., 76669 Bad Schönborn, DE;
Zapf, Thomas, Dr., 67346 Speyer, DE; Ulrich,
Heinrich, Dr., 69121 Heidelberg, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
EP 06 23 804 A2

54 Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte

57 Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils (1) beliebiger Objekte (2), insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils (1) von Zähnen, mit einer Lichtquelle (3) zur Beleuchtung des Objekts (2), einer Optik (4) zur Fokussierung der von der Oberfläche (1) des Objekts (2) zurückkehrenden Lichtsignale (5), einem die Lichtsignale (5) aufnehmenden Detektor (6) und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor (7), wobei im Detektionsstrahlengang (8) der Optik (4) nachgeordnet und dem Detektor (6) vorgeordnet ein Strahlauskoppler (9) zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Ebenen des Objekts (2) zurückkehrenden Lichts (10) angeordnet ist und wobei das ausgekoppelte Licht (11) dem Detektor (6) zugeleitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlauskoppler (9) als Hintereinanderschaltung von Pinholes (20) ausgeführt ist und dass der jeweilige Anteil des zurückkehrenden Lichts, der im Bereich eines Pinholes zur Fokussierung gelangt, an diesem Pinhole (20) ausgeblendet wird, während Anteile des zurückkehrenden Lichts, die dort nicht zur Fokussierung gelangen, zu weiteren Pinholes weiterreflektiert werden.

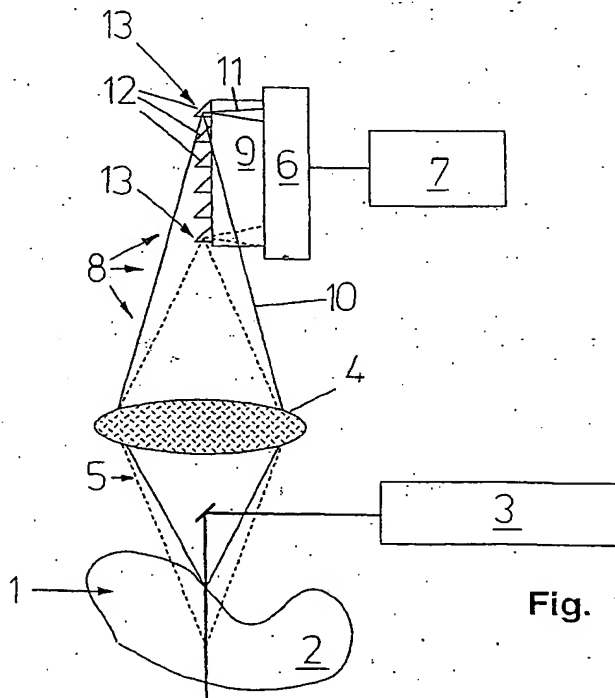


Fig. 1

DE 196 50 391 C 2

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen, mit einer Lichtquelle zur Beleuchtung des Objekts, einer Optik zur Fokussierung der von der Oberfläche des Objekts zurückkehrenden Lichtsignale, einem die Lichtsignale aufnehmenden Detektor und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor, wobei im Detektionsstrahlengang der Optik nachgeordnet und dem Detektor vorgeordnet ein Strahlauskoppler zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Ebenen des Objekts zurückkehrenden Lichts angeordnet ist und wobei das ausgekoppelte Licht dem Detektor zugeleitet wird.

Grundsätzlich handelt es sich hier um eine Anordnung zur Vermessung von Oberflächen jedweder Art und jedweder Kontur, und zwar unter Nutzung der aus der Konfokalmikroskopie bekannten Technik. Aus der Praxis sind bereits unterschiedliche Anordnungen und Verfahren zur Oberflächenvermessung bekannt.

So läßt sich beispielsweise mittels eines Lichtschnittsensors eine Lichtlinie auf das Objekt projizieren und mit einer CCD-Kamera unter einem Winkel beobachten. Die geometrische Verformung der Lichtlinie wird dabei gemessen. Aus dieser Verformung werden die Höhendifferenzen auf dem Objekt berechnet. Durch Verschiebung des Objekts unter dem Sensor – senkrecht zur Lichtlinie – und durch wiederholte Messung eines Profils läßt sich seriell die Oberflächenform vermessen beziehungsweise bestimmen.

Zwar handelt es sich bei dem Lichtschnittsensor um einen einfach aufgebauten und dabei robusten Sensor, jedoch führt die hier erforderliche Schrägbeleuchtung zu einer einseitigen Abschattung steiler Stellen. Dadurch entstehen Asymmetrien in der Abbildung beziehungsweise Ungenauigkeiten. Des weiteren werden durch Streuung von Licht aus verschiedenen Tiefen beispielsweise eines zumindest teiltransparenten Zahnmaterials die Messungen abermals ungenau beziehungsweise verfälscht.

Des weiteren ist es aus der Praxis auch bereits bekannt, mittels konfokaler Mikroskopie Oberflächen zu scannen und daraus dreidimensionale Aufnahmen der Oberfläche zu generieren. Hierzu wird lediglich beispielhaft auf Johann Engelhardt und Werner Knebel in Physik in unserer Zeit, 24. Jahrg. 1993, Nr. 2 "Konfokale Laserscanning-Mikroskopie" und D. K. Hamilton und T. Wilson in Appl. Phys. B 27, 211–213, 1982 "Three-Dimensional Surface Measurement Using the Confocal Scanning Microscope" verwiesen.

Die konfokale Mikroskopie eignet sich zur Oberflächenvermessung von Zahnoberflächen ganz besonders, da nach diesem Verfahren lediglich diejenigen Strukturen abgebildet werden, die sich unmittelbar in der Brennebene des Mikroskopobjektivs befinden. Meßfehler aufgrund des teiltransparenten Zahnmaterials sind somit wirksam vermieden.

Aus der EP 0 623 804 A2 ist eine optische Anordnung zum Abtasten bzw. Vermessen eines Oberflächenprofils beliebiger Objekte bekannt. Im Konkreten handelt es sich dort um eine optische Anordnung zum Abtasten bzw. Vermessen eines Oberflächenprofils beliebiger Objekte. Der dort vorgesehene Strahlauskoppler ist im Detektionsstrahlengang mittig angeordnet und umfasst in den jeweiligen Brennpunkten des zurückkehrenden Lichts liegende Umlenkmittel, wobei die Umlenkmittel im Detektionsstrahlengang hintereinander angeordnet sind. Die jeweils vorderen Umlenkmittel blenden den Zentralbereich des Gesamtstrahls des zurückkehrenden Lichts für die nachfolgenden Umlenkmittel aus. Bei dem Strahlauskoppler handelt es sich um hintereinander an-

geordnete, lichtdurchlässige Platten, die im Detektionsstrahlengang unter einem vorgegebenen Winkel hintereinander angeordnet sind. Die lichtdurchlässigen Platten bzw. der so gebildete Plattenstapel ist zumindest bereichsweise – mittig – mit Reflexionsschichten versehen. Von dort aus gelangt der rückreflektierte Strahl über eine Linse bzw. einem Linsensystem zu einem Detektor, der entsprechend der Anzahl der reflektierenden Platten darauf abgestimmte Detektionsmittel umfasst.

Die aus der EP 0 623 804 A2 bekannte Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung eines Oberflächenprofils ist jedoch in der Praxis problematisch, da die hintereinander angeordneten Platten mit den mittig ausgebildeten Reflexionsschichten für ganz erhebliche Lichtverluste des Detektionslichts sorgen. Je mehr Platten hintereinander angeordnet sind, desto geringer ist die Lichtausbeute für die jeweils hinteren Platten. Die hier realisierte gestufte Auskoppung des rückreflektierten Lichts aus unterschiedlichen Fokalebene ermöglicht zwar eine simultane Detektion unterschiedlicher Foki, erschwert jedoch die Detektion des Lichts mit weit hinten liegendem Fokus aufgrund der davor angeordneten Reflexionsschichten. Ausserdem besteht die Gefahr, dass die durchsichtigen Platten – es handelt sich hier in der Regel um Glaskörper – im Laufe der Zeit verschmutzen, wodurch ungewollte Reflexion ausserhalb der eigentlichen Reflexionsschichten stattfinden. Die Zuverlässigkeit der Anordnung ist dadurch grundsätzlich in Frage gestellt.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte derart auszugestalten und weiterzubilden, dass eine zuverlässige polyfokale Auskoppung des Lichts mit einfachen Mitteln möglich ist, wobei auch eine zuverlässige Detektion der vom Objekt aus gesehen weiter entfernt liegenden Foki gewährleistet sein soll.

Die erfindungsgemäße Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte, insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen, löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Danach ist die eingangs genannte Anordnung dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlauskoppler als Hintereinanderschaltung von Pinholes ausgeführt ist und dass der jeweilige Anteil des zurückkehrenden Lichts, der im Bereich eines Pinholes zur Fokussierung gelangt, an diesem Pinhole ausgeblendet wird, während Anteile des zurückkehrenden Lichts, die dort nicht zur Fokussierung gelangen, zu weiteren Pinholes weiterreflektiert werden.

Zunächst ist hier erkannt worden, dass es grundsätzlich möglich ist, vom Objekt über eine Optik zurückkehrendes Licht aus unterschiedlichen Ebenen des Objekts gleichzeitig auszukoppeln, wobei das ausgekoppelte Licht dem Detektor bzw. mehreren Detektoren zugeleitet wird. Die Auskoppung erfolgt durch einen im Detektionsstrahlengang der Optik nachgeordneten und dem Detektor vorgeordneten Strahlauskoppler, der – wie bereits gesagt – gleichzeitig an mehreren Foki des zurückkehrenden Lichts zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils des Objekts auskoppeln kann. Letztendlich erfolgt hier eine gleichzeitige Abtastung des Objekts in mehreren Fokalebene, wobei das Oberflächenprofil des Objekts insgesamt abgescannet bzw. abgerastert wird.

Erfindungsgemäss ist erkannt worden, dass man den Strahlauskoppler mit einer Kaskadierung von Pinholes realisieren kann. Damit wird das zurückkehrende Licht im Bereich eines Brennpunkts mit jeweils einem Pinhole ausgeblendet und wird ansonsten zum nächsten Pinhole reflektiert. Der reflektierte Anteil des Lichts wird dann wiederum

im Bereich eines Brennpunkts – abermals – ausgeblendet und ansonsten abermals reflektiert, nämlich zu einem weiteren Pinhole. Mehrere solcher Pinholes lassen sich miteinander kommunizierend anordnen, wobei zur Reflexion des jeweils nicht ausgekoppelten Lichts unter einem vorgegebenen Winkel angeordnete, miteinander im Strahlengang kommunizierende Spiegel verwendet werden. Diese Spiegel müssten die zur Ausblendung erforderlichen Pinholes als Durchgänge in sich aufweisen.

Im Rahmen einer weiteren Ausgestaltungsmöglichkeit des Strahlauskopplers könnte dieser ein Gehäuse oder einen lichtleitenden Körper umfassen. Sowohl das Gehäuse als auch der lichtleitende Körper wäre mit einer optischen Öffnung im Detektionsstrahlengang des zurückkehrenden Lichts anzuordnen, damit nämlich das zurückkehrende Licht in diese optische Öffnung einfallen kann. Das einfallende Licht könnte entlang zweier einander gegenüberliegender Reflexionsflächen entsprechend dem Einfallswinkel wechselseitig reflektiert und an gegenüberliegenden Pinholes im jeweiligen Brennpunkt – aus entsprechenden Brennebenen des Objekts – zu den Detektoren hin teilausgeblendet werden. Die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen könnten als Spiegelflächen mit darin ausgebildeten Pinholes ausgeführt sein.

Des weiteren wäre es möglich, die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen exakt parallel zueinander auszubilden, wobei es sich bei den Reflexionsflächen grundsätzlich um Wandungen des Gehäuses oder um Oberflächen eines aus Vollmaterial bestehenden Glaskörpers oder dergleichen handeln kann.

Bei dem Gehäuse bzw. dem lichtleitenden Körper könnten sich die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen von der optischen Öffnung aus ins Innere des Gehäuses bzw. des Körpers voneinander entfernen, d. h. divergieren. Insofern würde sich der zur Ausbreitung des insoweit bereits umgelenkten Lichts zur Verfügung stehende Raum stetig oder unstetig erweitern. Eine der beiden Reflexionsflächen könnte dabei stufig ausgebildet sein, d. h. sich von der gegenüberliegenden Reflexionsfläche in Stufen entfernen. Jede der dabei entstehenden Teilflächen könnte wiederum ein Pinhole oder eine Gruppe von Pinholes zur Ausblendung in einem jeweiligen Brennpunkt aufweisen.

In den gegenüberliegenden Reflexionsflächen könnten ebenso gruppenweise Pinholes zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen sein. An dieser Stelle sei hervorgehoben, dass unmittelbar an den Pinholes oder im Bereich der Pinholes geeignete Detektoren zur Aufnahme des ausgeblendeten Lichts angeordnet sein können. So ließen sich auf den Reflexionsflächen gegenüberliegenden Seiten beispielsweise Lichtleitfasern, Dioden oder sonstige optisch arbeitende Detektoren anordnen.

Der Strahlauskoppler könnte im Rahmen einer weiteren Alternative mehrere mit vorgegebenen Winkel zueinander angeordnete, miteinander kommunizierende Reflexionsflächen mit Pinholes aufweisen. Die Reflexionsflächen könnten insgesamt eine Polygonanordnung ergeben. Auch hier wird an den Pinholes in jeweiligen Brennpunkten ausgekoppelt und das ausgekoppelte Licht durch einen Detektor aufgenommen.

Der Strahlauskoppler könnte ebenso als Spaltsystem mit mehreren nebeneinanderliegenden Spalten zur parallelen Detektion der x- und z-Koordinaten des zurückkehrenden Lichts ausgebildet sein, so dass eine simultane Detektion mehrere Bildpunkte in einer Brennebene möglich ist.

Dem Strahlauskoppler können unterschiedliche Detektoren nachgeschaltet sein, so beispielsweise singuläre Detektoren, Detektorarrays, lineare oder flächige CCDs, Dioden, Fotomultiplier, Diodenanordnungen bzw. positionssensitive

Dioden, etc., wobei der Strahlauskoppler und die Detektoren in funktionaler Hinsicht und auch baugruppenmäßig kombiniert sein können.

Im Falle einer funktionalen und baugruppenmäßigen Kombination von Strahlauskoppler und Detektor könnten im Detektionsstrahlengang vorzugsweise zentral Dioden in den jeweiligen Brennpunkten des zurückkehrenden Lichts angeordnet sein, die aufgrund ihrer Hintereinanderschaltung als positionsempfindliche Dioden arbeiten.

Hinsichtlich der Beleuchtung des Objekts ist es von Vorteil, wenn es sich dabei um eine polyfokale Beleuchtung z. B. durch hohe sphärische Aberration, Zonenlinsen, etc. handelt. Jedenfalls wird das Objekt über einen vorgebbaren Fokusbereich strukturiert beleuchtet, wobei zur polyfokalen Beleuchtung beispielsweise eine Laserlichtquelle verwendet werden kann. Wie bereits zuvor erwähnt, läßt sich die polyfokale Beleuchtung durch Öffnungsfehler, Zonenlinsen, Hologramme, etc. erzeugen, wobei eine Fokussierung des Lichts auf unterschiedliche Brennebenen erfolgt. Die Oberfläche selbst kann obendrein mit Streu- oder Fluoreszenzmitteln präpariert werden, um ganz besondere Effekte im Streu- oder Reflexionslicht ausnutzen zu können.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Ansprüche, andererseits auf die nachfolgende Erläuterung verschiedener Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Fig. 5 bis 15 zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung den grundsätzlichen Aufbau einer Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils beliebiger Objekte mit einem Strahlauskoppler ohne Pinholes,

Fig. 2 in einer schematischen Darstellung die Anordnung aus Fig. 1 in einer Draufsicht,

Fig. 3 in einer schematischen Darstellung einen als Plattenstapel ausgebildeten Strahlauskoppler mit Detektorarray ohne Pinholes,

Fig. 4 in einer schematischen Darstellung einen als monolithischen Plexiglasblock ausgebildeten Strahlauskoppler nebst Detektorarray ohne Pinholes, und zwar links in einer Seitenansicht und rechts in einer Draufsicht,

Fig. 5 in einer schematischen Darstellung eine erfindungsgemäße Möglichkeit zur Strahlauskopplung durch Hintereinanderschaltung von Spiegeln und Pinholes nebst Detektoren,

Fig. 6 in einer schematischen Darstellung einen Strahlauskoppler mit zwei gegenüberliegenden Reflexionsflächen und Pinholes,

Fig. 7 in einer schematischen Darstellung den Gegenstand aus Fig. 6 in einer Draufsicht auf die zur Strahlauskopplung dienenden Pinholes,

Fig. 8 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlauskopplers mit Pinholes, jedoch mit divergierenden gegenüberliegenden Reflexionsflächen,

Fig. 9 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlauskopplers mit zwei gegenüberliegenden Reflexionsflächen und Pinholes, wobei eine der Reflexionsflächen stufig ausgeführt ist,

Fig. 10 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlauskopplers mit zwei gegenüberliegenden Reflexionsflächen, wobei gruppenweise Pinholes zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen sind,

Fig. 11 in einer schematischen Darstellung ein weiteres

Ausführungsbeispiel eines Strahlauskopplers mit Reflexionsflächen in Polygonanordnung,

Fig. 12 in einer schematischen Darstellung ein als Spaltsystem ausgebildeter Strahlauskoppler,

Fig. 13 in einer schematischen Darstellung die spaltenweise Abbildung des Objekts mittels einer 2d-Kamera oder mit Y-Scan,

Fig. 14 in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur polyfokalen Beleuchtung des Objekts und

Fig. 15 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel zur polyfokalen Beleuchtung.

Die Fig. 1 und 2 zeigen schematisch eine Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des hier lediglich angedeuteten Oberflächenprofils 1 beliebiger Objekte 2, wobei es sich hier insbesondere um die Vermessung des Oberflächenprofils von Zähnen handelt. Die Anordnung umfaßt eine Lichtquelle 3 zur Beleuchtung des Objekts 2, eine Optik 4 zur Fokussierung der von der Oberfläche 1 des Objekts 2 zurückkehrenden Lichtsignale 5, einen die Lichtsignale 5 aufnehmenden Detektor 6 und einen die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor 7.

Im Detektionsstrahlengang 8 ist der Optik 4 nachgeordnet und dem Detektor 6 vorgeordnet ein Strahlauskoppler 9 vorgesehen, der zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Bildebenen des Objekts 2 zurückkehrenden und durch die Optik 4 fokussierten Lichts 10 dient, wobei das ausgekoppelte Licht 11 dem Detektor 6 zugeleitet wird.

Fig. 1 läßt des weiteren erkennen, dass der Strahlauskoppler 9 im Detektionsstrahlengang 8 zentral angeordnete Umlenkmittel 12 in den jeweiligen Brennpunkten 13 des zurückkehrenden Lichts 10 aufweist. Die Umlenkmittel 12 sind im Detektionsstrahlengang 8 hintereinander angeordnet, wobei die jeweils vorderen Umlenkmittel 12 Zentralbereiche des in Fig. 2 schematisch dargestellten Gesamtstrahls 14 des zurückkehrenden Lichts 10 für die nachfolgenden Umlenkmittel 12 ausblenden.

Fig. 3 zeigt einen dabei verwendbaren Strahlauskoppler 9, der nämlich als lichtdurchlässiger Plattenstapel 15 mit im Detektionsstrahlengang 8 unter einem vorgegebenen Winkel hintereinander angeordneten, als Umlenkmittel 12 dienenden Platten 16 ausgebildet ist. Die lichtdurchlässigen Platten 16 sind bereichsweise mit Reflexionsschichten 17 versehen, die im Detektionsstrahlengang 8 wiederum hintereinander angeordnet sind und zur Auskoppelung des zurückkehrenden Lichts 10 in den jeweiligen Brennpunkten dienen.

Gemäß der Darstellung in Fig. 4 ist der Strahlauskoppler 9 als monolithischer Plexiglasbaustein 18 mit im Detektionsstrahlengang 8 unter einem vorgegebenen Winkel hintereinander angeordneten integralen Umlenkmitteln 12 ausgeführt, wobei auch diese Umlenkmittel 12 vorzugsweise mit einer in Fig. 4 nicht dargestellten Reflexionsschicht versehen sind. Sowohl dem Strahlauskoppler 9 gemäß Fig. 3 als auch dem Strahlauskoppler 9 gemäß Fig. 4 ist jeweils ein Detektorarray 19 nachgestaltet, wobei es sich hier ebenso um positionsempfindliche Dioden handeln kann.

Fig. 5 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem Strahlauskoppler 9, der nämlich als Hintereinanderschaltung von Pinholes 20 ausgeführt ist. Das zurückkehrende Licht 10 wird dabei im Bereich eines Brennpunkts 21, an einem Pinhole 20 ausgeblendet und ansonsten zum nächsten Pinhole 20 hin reflektiert. Der reflektierte Anteil des Lichts 22 wird dort wiederum im Bereich eines Brennpunkts 21 ausgeblendet und ansonsten abermals reflektiert. Dieser Vorgang kann sich mehrfach wiederholen, so dass mehrere Ausblendungen in kaskadierter Form stattfinden. Das jeweils nicht ausgekoppelte Licht wird gemäß dem hier

gewählten Ausführungsbeispiel mittels miteinander kommunizierender Spiegel 23 reflektiert und an den dort ausgebildeten Pinholes 20 jeweils ausgeblendet.

Gemäß den Fig. 6 bis 10 kann der Strahlauskoppler 9 ein Gehäuse 24 oder einen lichtleitenden Körper umfassen, der eine mittig im Detektionsstrahlengang 8 anordenbare optische Öffnung 25 für das unter einem bestimmten Winkel einfallende, zurückkehrende Licht 10 aufweist. Das einfallende Licht 10 wird dabei entlang zweier einander gegenüberliegender Reflexionsflächen 26, 27 entsprechend dem Einfallswinkel wechselseitig reflektiert und an gegenüberliegenden Pinholes 20 im jeweiligen Brennpunkt 21 zu den in den Fig. 6 bis 10 nicht gezeigten Detektoren teilausgeblendet. Lediglich zur besseren Übersicht wurde hier auf eine besondere Darstellung einzelner Detektoren verzichtet.

Im konkreten sind die beiden einander gegenüberliegenden Reflexionsflächen 26, 27 als Spiegelflächen mit darin ausgebildeten Pinholes 20 ausgeführt. Gemäß dem in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen 26, 27 parallel zueinander ausgebildet. Bei dem in Fig. 8 dargestellten Ausführungsbeispiel weist lediglich die Reflexionsfläche 27 Pinholes 20 auf und divergieren die beiden Reflexionsflächen 26, 27 von der optischen Öffnung 25 aus ins Innere des Gehäuses 24.

Bei dem in Fig. 9 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Reflexionsfläche 26 stufig ausgebildet und entfernt sich von der optischen Öffnung 25 ins Innere des Gehäuses 24 von der gegenüberliegenden Reflexionsfläche 27, wobei auch hier lediglich die Reflexionsfläche 27 Pinholes 20 aufweist.

Bei dem in Fig. 10 gezeigten Ausführungsbeispiel sind in den gegenüberliegenden Reflexionsflächen 26, 27 gruppenweise Pinholes 20 zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen.

Gemäß der Darstellung in Fig. 11 ist der Strahlauskoppler 9 im Sinne einer Polygonanordnung ausgeführt, weist nämlich der Strahlauskoppler 9 mehrere mit vorgegebenen Winkel zueinander angeordnete, miteinander kommunizierende Reflexionsflächen 26 auf, in denen wiederum Pinholes 20 ausgebildet sind. Nicht ausgeblendetes Licht wird an den Reflexionsflächen 26 reflektiert und gelangt als reflektierter Anteil des Lichts 22 zu dem jeweils nächsten Pinhole 20.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Strahlauskopplers 9 zeigt Fig. 12. Dieser Strahlauskoppler 9 ist nämlich als Spaltsystem mit mehreren nebeneinander liegenden Spalten 28 zur parallelen Detektion der x- und z-Koordinaten des zurückkehrenden Lichts ausgebildet, so dass eine simultane Detektion mehrerer Bildpunkte in einer Brennebene möglich ist.

Fig. 13 zeigt eine entsprechende Abbildung der Spalte 28 mittels einer 2d-Kamera in Realtimeprofilometrie, wobei eine solche Abbildung auch mit Y-Scan erzeugt werden kann. Ein dreidimensionaler Datensatz ließe sich bei 50 Schnitten pro Sekunde (video) in etwa einer Sekunde erzeugen.

Schließlich beziehen sich die Fig. 14 und 15 auf die polyfokale Beleuchtung des Objekts 2, wozu eine Laserlichtquelle vorgesehen sein kann. Jedenfalls läßt sich die polyfokale Beleuchtung beispielsweise durch eine in Fig. 14 lediglich angedeutete Zonenlinse 29 realisieren, wobei eine Fokussierung des Lichts auf unterschiedliche Brennebenen 30 erfolgt. Fig. 15 bezieht sich ebenfalls auf die Möglichkeit einer polyfokalen Beleuchtung, bei der das Licht auf unterschiedliche Brennebenen 30 zur strukturierten Beleuchtung fokussiert wird, und zwar mittels einer Mehrfachreflexionsplatte 31, wodurch ebenfalls mehrere Brennpunkte in mehreren Brennebenen 30 erreicht werden.

Patentansprüche

1. Anordnung zur simultanen polyfokalen Abbildung des Oberflächenprofils (1) beliebiger Objekte (2), insbesondere zur Vermessung des Oberflächenprofils (1) von Zähnen, mit einer Lichtquelle (3) zur Beleuchtung des Objekts (2), einer Optik (4) zur Fokussierung der von der Oberfläche (1) des Objekts (2) zurückkehrenden Lichtsignale (5), einem die Lichtsignale (5) aufnehmenden Detektor (6) und einem die detektierten Signale digitalisierenden und weiterverarbeitenden Prozessor (7), wobei im Detektionsstrahlengang (8) der Optik (4) nachgeordnet und dem Detektor (6) vorgeordnet ein Strahlauskoppler (9) zum gleichzeitigen Auskoppeln des aus unterschiedlichen Ebenen des Objekts (2) zurückkehrenden Lichts (10) angeordnet ist und wobei das ausgekoppelte Licht (11) dem Detektor (6) zugeleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlauskoppler (9) als Hintereinanderschaltung von Pinholes (20) ausgeführt ist und dass der jeweilige Anteil des zurückkehrenden Lichts, der im Bereich eines Pinholes zur Fokussierung gelangt, an diesem Pinhole (20) ausgeblendet wird, während Anteile des zurückkehrenden Lichts, die dort nicht zur Fokussierung gelangen, zu weiteren Pinholes weiterreflektiert werden.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlauskoppler zur Reflexion des jeweils nicht ausgekoppelten Lichts (22) unter vorgegebenen Winkeln angeordnete, miteinander kommunizierende Reflexionsflächen aufweist, in denen die Pinholes (20) vorgesehen sind.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlauskoppler (9) ein Gehäuse (24) oder einen lichtleitenden Körper mit einer vorzugsweise mittig im Detektionsstrahlengang (8) anordenbaren optischen Öffnung (25) für das einfallende, zurückkehrende Licht (10) umfasst und dass das einfallende Licht (10) entlang zweier einander gegenüberliegender Reflexionsflächen (26, 27) entsprechend dem Einfallswinkel wechselseitig reflektiert und an vorzugsweise gegenüberliegenden Pinholes (20) zum Detektor hin teilausgeblendet wird.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) als Spiegelflächen mit darin ausgebildeten Pinholes (20) ausgeführt sind.

5. Anordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) parallel zueinander ausgebildet sind.

6. Anordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) von der optischen Öffnung (25) ins Innere des Gehäuses (24) oder Körpers divergieren.

7. Anordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der beiden Reflexionsflächen (26, 27) stufig ausgebildet ist und sich dabei von der optischen Öffnung (25) ins Innere des Gehäuses (24) oder Körpers von der anderen Reflexionsfläche (26, 27) entfernt.

8. Anordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die stufige Reflexionsfläche (26, 27) im Bereich jeder Teilfläche ein Pinhole (20) aufweist.

9. Anordnung nach einem Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass in den gegenüberliegenden Reflexionsflächen (26, 27) gruppenweise Pinholes (20) zur simultanen Farbaufspaltung vorgesehen sind.

10. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlauskoppler (9) als Polygonanordnung von Reflexionsflächen ausgeführt ist.

11. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlauskoppler (9) anstelle der Pinholes ein Spaltsystem mit mehreren hintereinander liegenden Spalten (28) aufweist, zur parallelen Detektion von x- und z-Koordinaten von mehreren Punkten aus einer Ebene des Objekts (2).

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass dem Strahlauskoppler (9) ein Detektorarray (19) nachgeschaltet ist.

13. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass dem Strahlauskoppler (9) Dioden nachgeschaltet sind.

14. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Objekt (2) im wesentlichen über einen vorgebbaren Fokusbereich strukturiert beleuchtbar ist.

15. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine polyfokale Beleuchtung des Objekts mit einer Laserlichtquelle vorgesehen ist.

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass durch Öffnungsfehler, Zonenlinsen (29) oder Hologramme eine polyfokale Beleuchtung erzeugt wird, wobei eine Fokussierung von Lichtanteilen auf unterschiedliche Ebenen des Objekts erfolgt.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

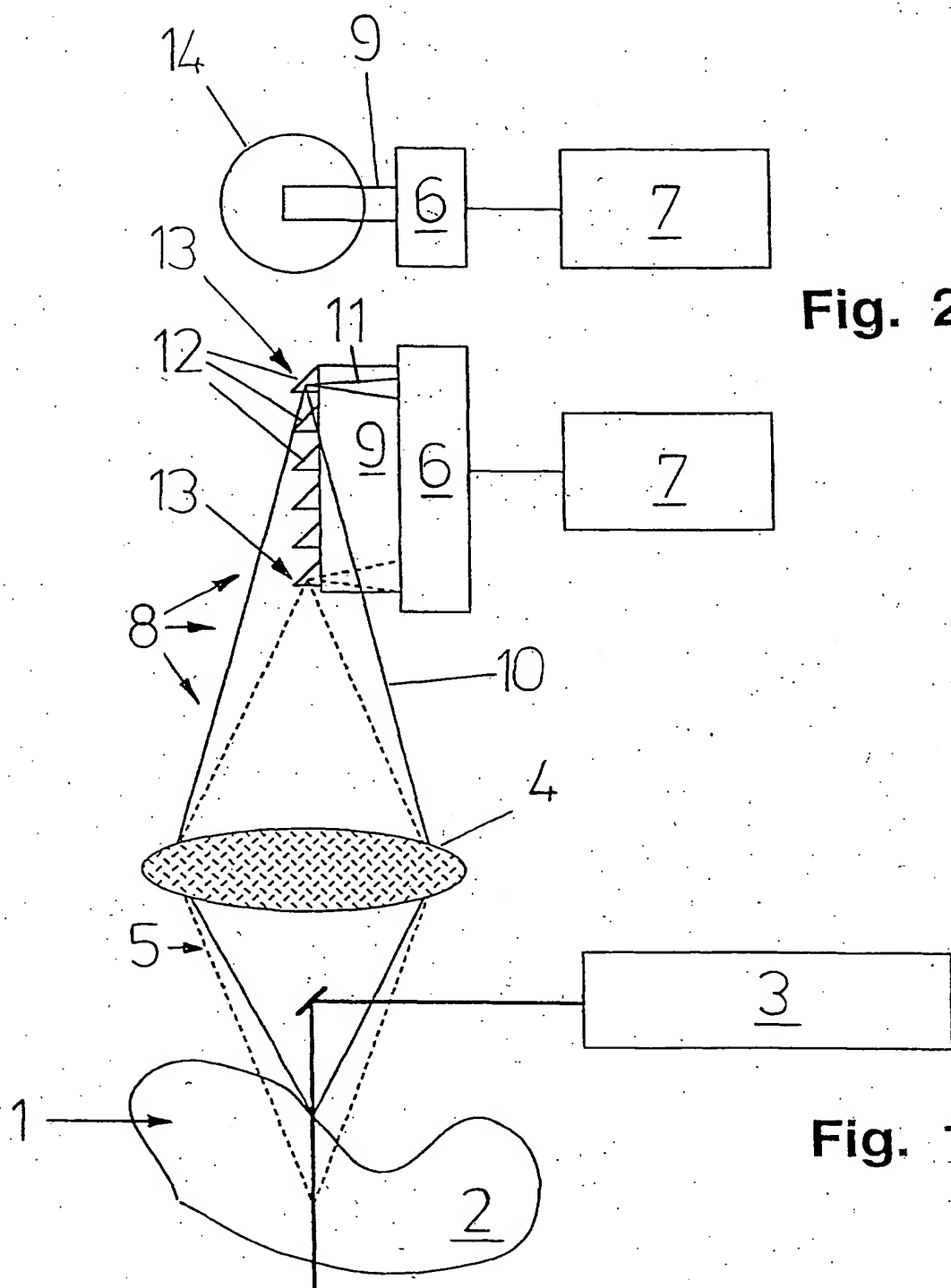


Fig. 2

Fig. 1

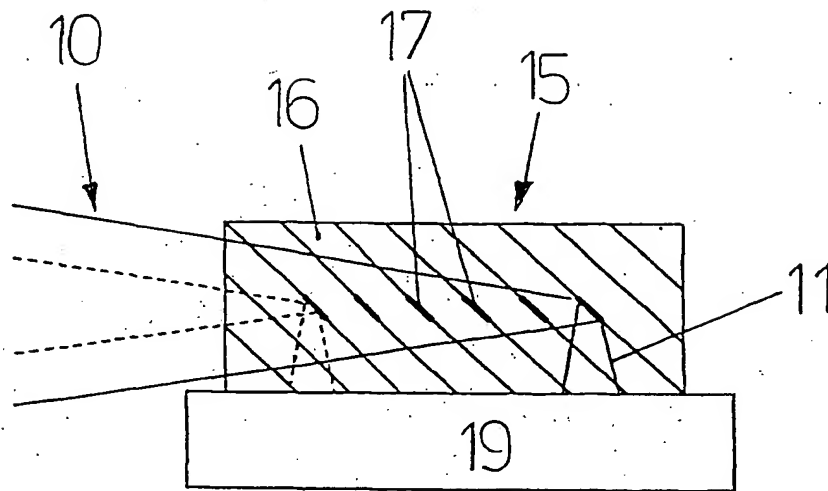


Fig. 3

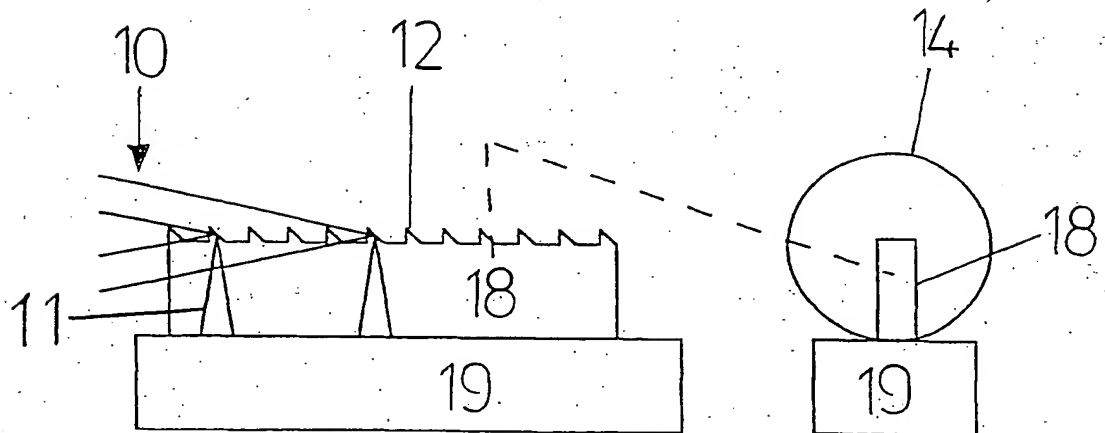


Fig. 4

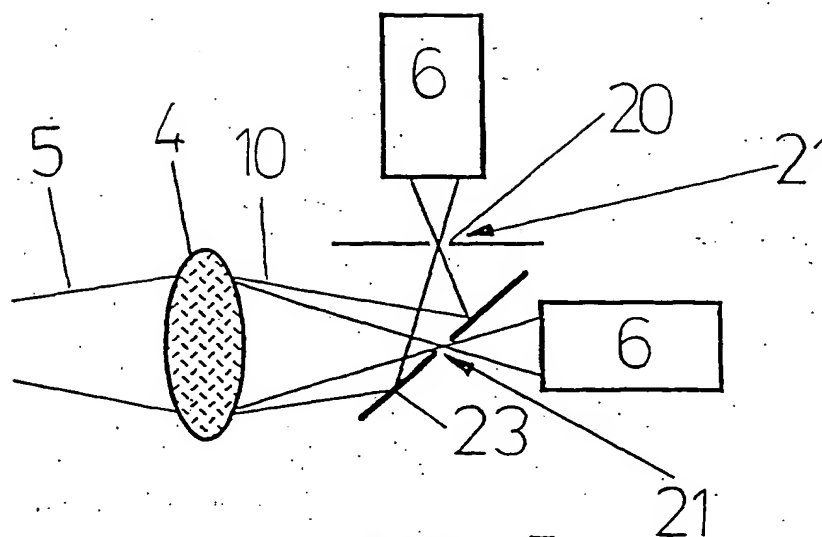


Fig. 5

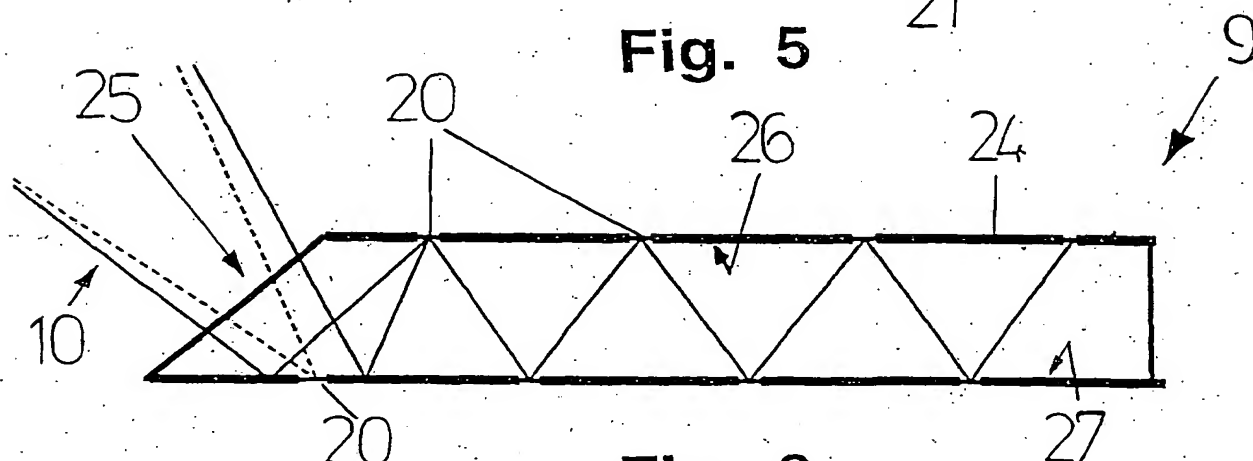


Fig. 6

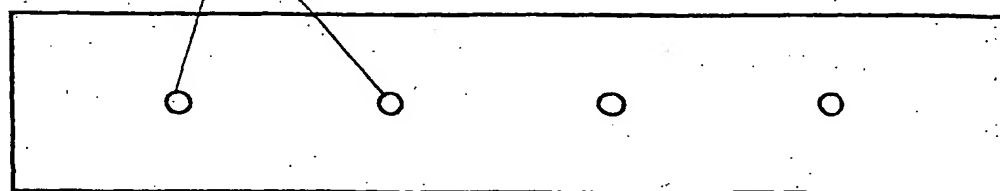


Fig. 7

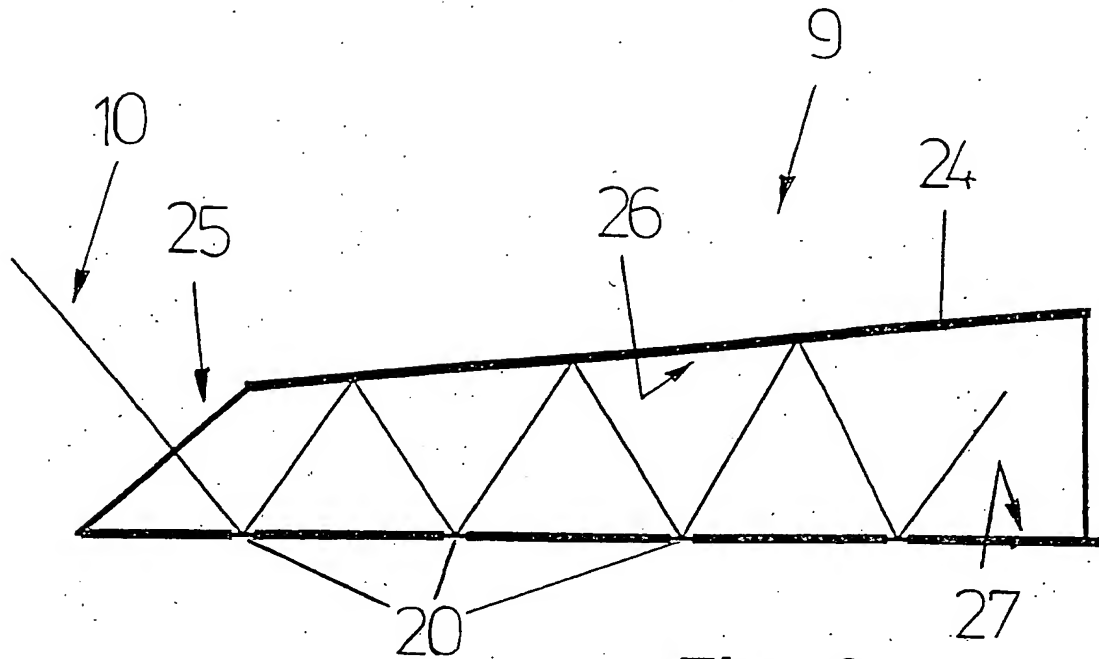


Fig. 8

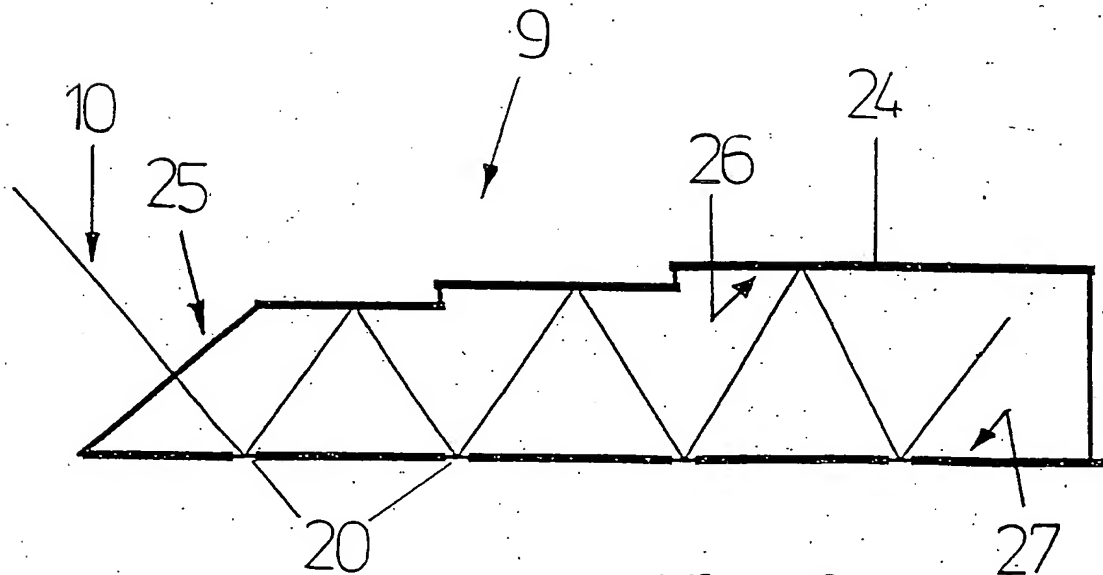


Fig. 9

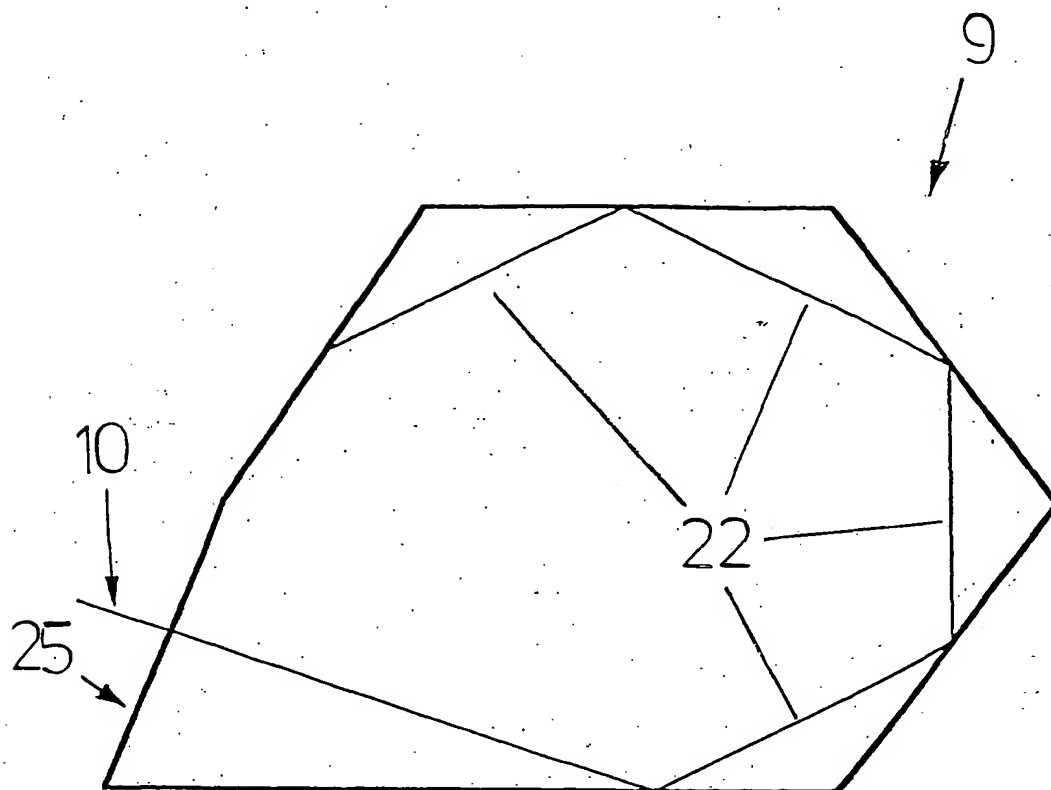


Fig. 11

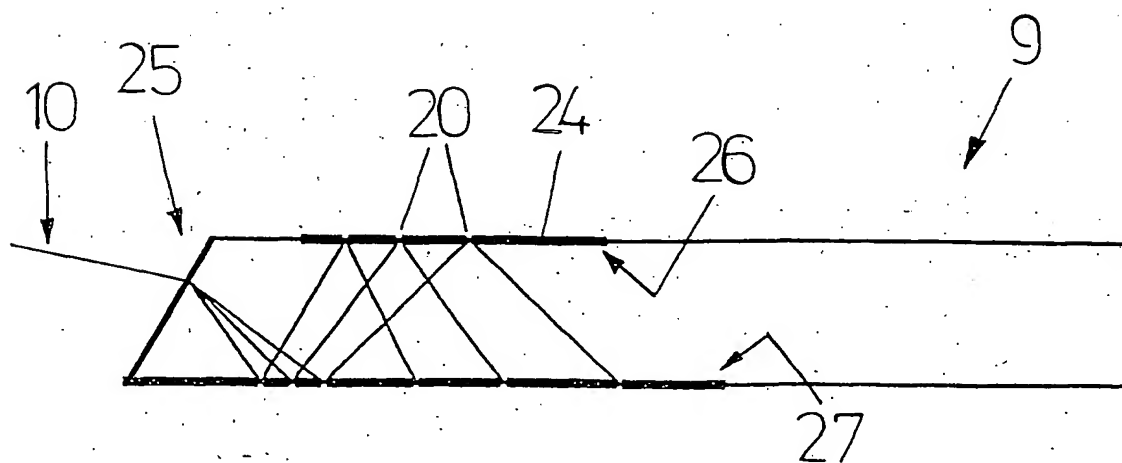


Fig. 10

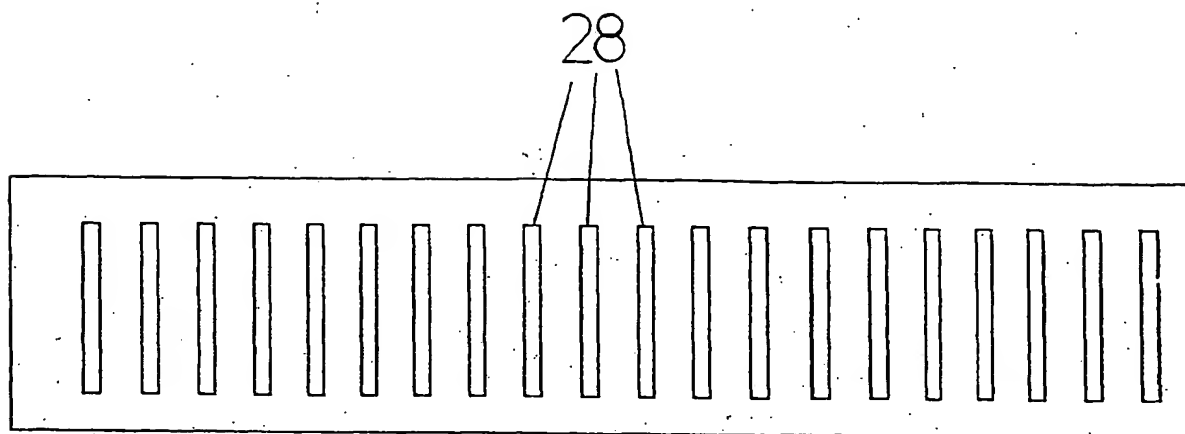


Fig. 12

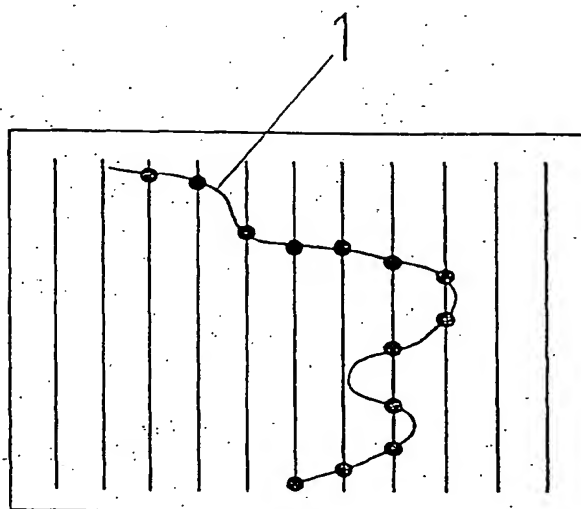


Fig. 13

